

# Beltéri autonóm négyrotoros helikopter szabályozó rendszerének kifejlesztése és hardware-in-the-loop tesztelése

Regula Gergely, Lantos Béla

BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Irányítástechnika és Informatika Tanszék

# Felépítés



- Kisméretű UAV-k szabályozási kérdései
- A négyrotoros helikopter bemutatása
- A helikopter szabályozó rendszere
  - Felépítés
  - A komponensek működése
    - Backstepping alapú szabályozó, pályakövető algoritmus, állapotbecslő
- Az algoritmus implementálása MPC555 alapú fedélzeti számítógépen
- Valós idejű tesztek bemutatása
- Összefoglaló

## Kisméretű UAV-k szabályozása



- Általában alulaktuált rendszerek (a szabadságfokok száma nagyobb a beavatkozó jelek számánál)
  - Négyrotoros helikopter esetén  
4 beavatkozó jel  $\leftrightarrow$  6 szabadságfok
    - A rotorok fordulatszáma
- Bonyolult szabályozási algoritmusok
  - Nemlineáris rendszermodell
  - Állapotbecslés

## Kisméretű UAV-k szabályozása



- A szabályozáshoz alkalmazott modell csupán közelíti a valódi rendszer viselkedését
  - A valódi helikopter nem modellezett dinamikáját is figyelembe lehet venni
- A különböző eredetű mérési zajokat el kell tudnia nyomni a szabályozónak
  - Kiterjesztett Kalman-szűrők alkalmazása egy lehetséges megoldás
  - Robusztus szabályozási technikák alkalmazása

# UAV szabályozás ↔ valós idejű működés



- Nagy számítási kapacitás szükséges
  - Bonyolult algoritmusok
    - Nemlineáris rendszer állapotbecslése
    - Különböző szenzorok (kamerás és inerciális mérőrendszer) mért jeleinek feldolgozása szenzorfüzió segítségével
  - Kis mintavételi idő szükséges, részben a jármű mérete miatt

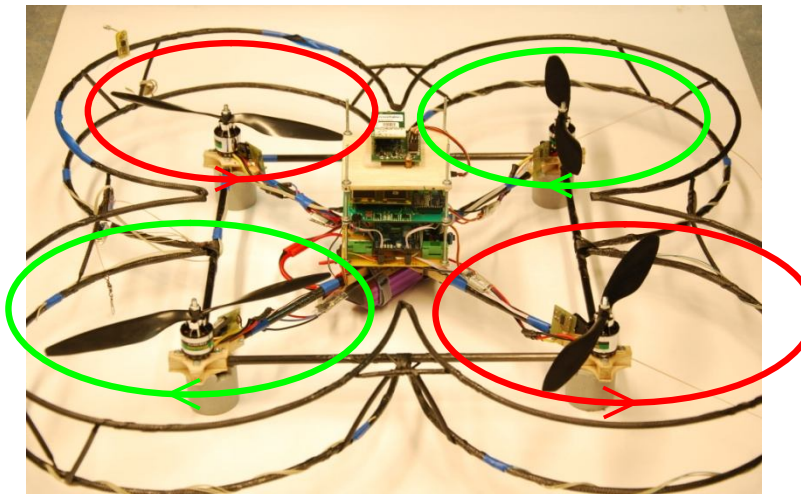
Más megközelítés: elosztott megvalósítás

- További probléma
  - Szinkronizált kommunikáció a rendszerkomponensek között

# A négyrotoros helikopter



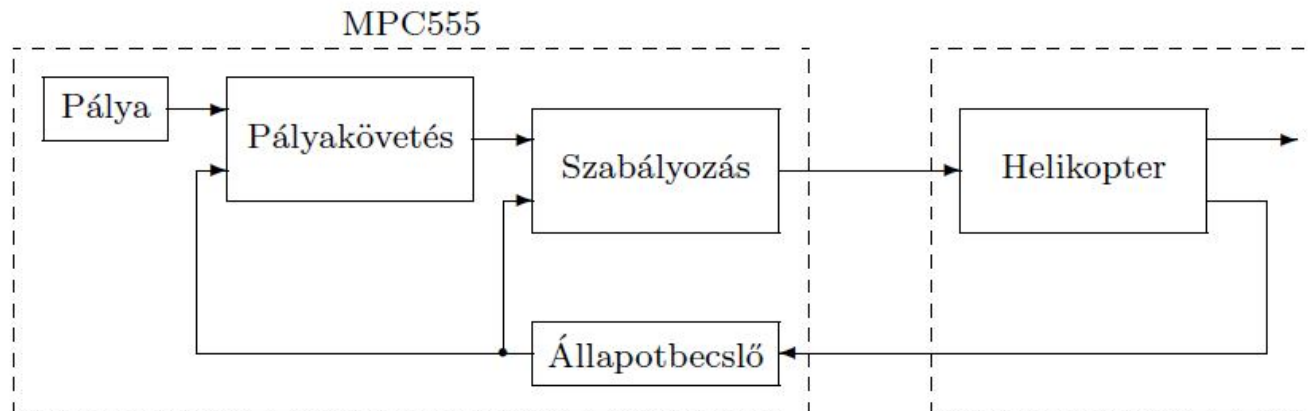
- Működés
  - 4 rotor fix állásszöggel
  - 2-2 rotor azonos irányban forog
  - Fordulatszámok vezérlése decentralizált



# A helikopter szabályozó rendszere



- A szabályozási szintek
  - Pályagenerálás
  - Pályakövetés
  - A helikopter stabilizálása
  - Állapotbecslés
  - Motorok szabályozása



# A pálya megadása és követése



- A pálya megadása
  - A térbeli pályakoordináták és a z-tengely körüli elforgatás minden sarokponthoz
  - Módosítás vezeték nélküli csatornán
- A sarokpontok bejárása
  - A továbblépés feltételei

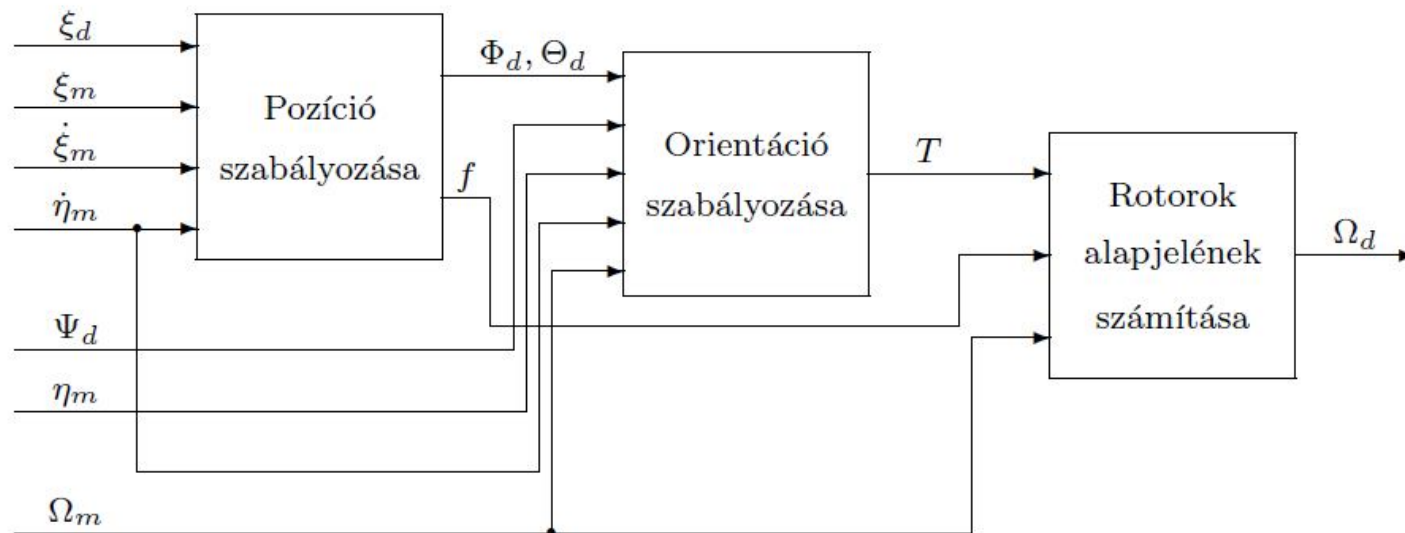
$$\sum_{j=1}^3 (\xi_{d_j}^{(i+1)} - \xi_j)^2 < \Delta \xi_0$$
$$\sum_{j=1}^3 (\xi_{d_j}^{(i+1)} - \xi_j)^2 < \lambda \sum_{j=1}^3 (\xi_{d_j}^{(i+1)} - \xi_{d_j}^{(i)})^2$$

$$|\Psi_d^{(i+1)} - \Psi| < \Delta \Psi_0$$

# A helikopter stabilizálása



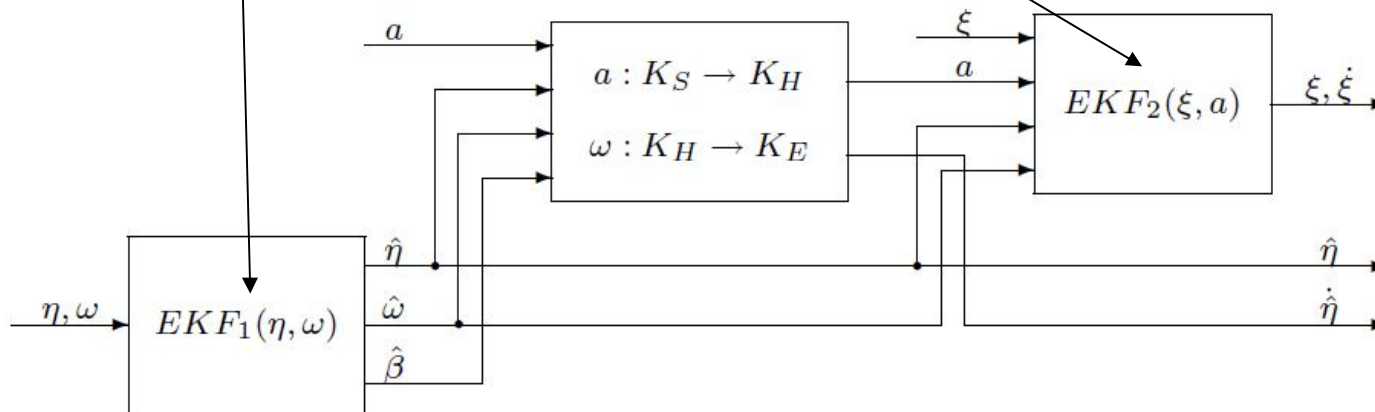
- A szabályozás célja a helikopter vízszintes síkban tartása előírt pozícióban és irányban
- Szabályozás nemlineáris modell alapján backstepping technikával



# Állapotbecslés



- A szabályozás számításigényes alegysége
  - Két kiterjesztett Kalman-szűrőt tartalmaz
    - Orientáció és pozíció becslése, mérések pontosabbá tétele (szenzor bias becslése)
    - Az IMU és a látórendszer méréseit veszi alapul
  - A gyorsuláson és szögsebességen koordináta-transzformációt kell végezni

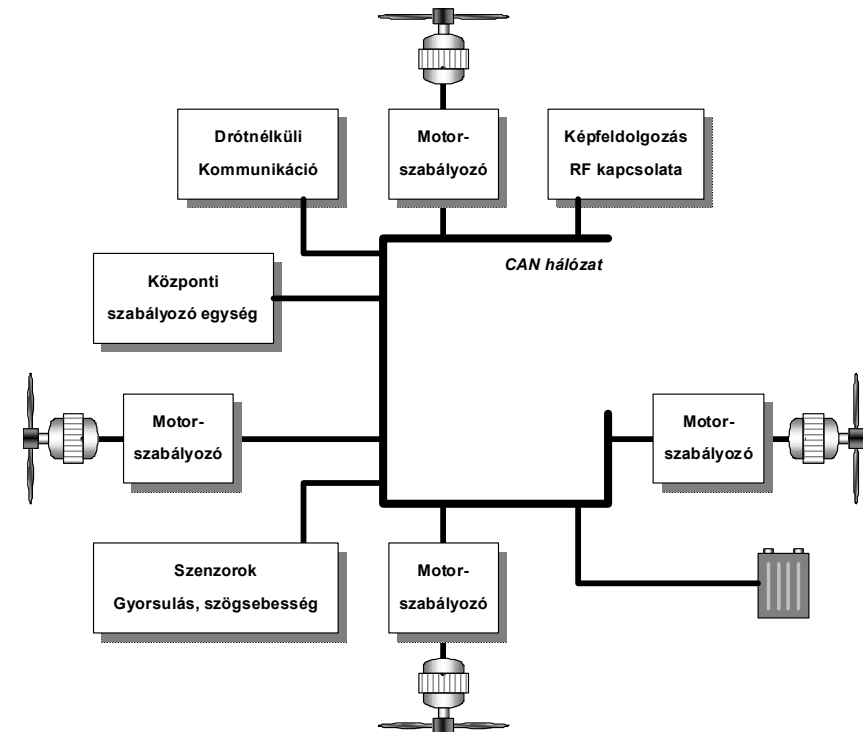


# A fedélzeti számítógép felépítése



## A rendszer felépítése

- 4 decentralizált fordulatszám-szabályozás
- Szenzorrendszer
- Hálózatalapú szabályozási rendszer
- CAN hálózat biztosítja az összeköttetést



# A fedélzeti irányító rendszer megvalósítása



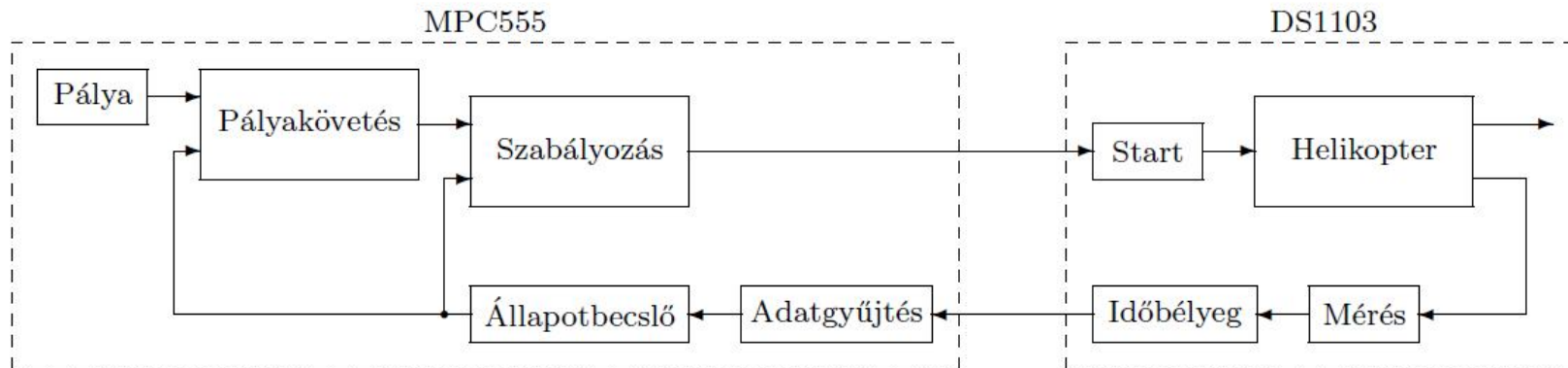
- A szabályozó algoritmus implementálásának hardver- és szoftverkörnyezete
  - Célprocesszor: Freescale MPC555 (PHYTEC)
  - Fejlesztőkörnyezet: MATLAB Simulink
  - Az automatikus kódgenerálás folyamata:
    - Real-Time Workshop → Target Language Compiler → Embedded Target for Motorola MPC555 → Metrowerks CodeWarrior



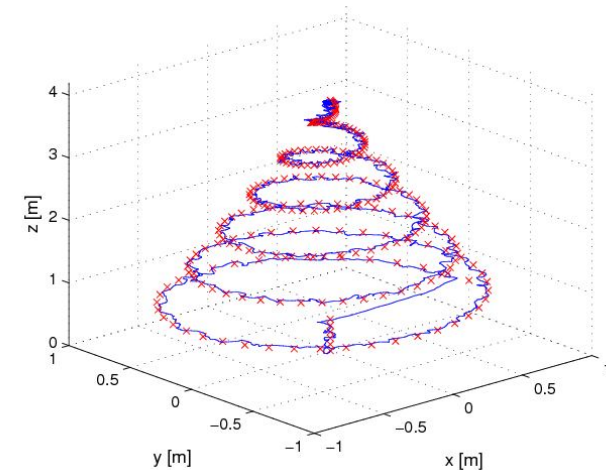
# A szabályozás valós idejű tesztelése



- Hardware-in-the-loop teszt



- A helikopter és a szenzorrendszer emulálása DS1103 egységen (Simulink segítségével)
- Szabályozás futtatása valós időben
- Repülési adatok monitorozása és utólagos elemzése



## Eredmények



- Az algoritmus valós időben működik  $T=0.03s$  mintavételi idővel
- Az integrált irányítás megvalósítása tesztelés alatt
  - Beltéri próbarepülések
  - Bővebb információk Kis László előadásában



# Köszönöm a figyelmet!

Regula Gergely

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Irányítástechnika és Informatika Tanszék

Intelligens Robotok Labor

[regula@iit.bme.hu](mailto:regula@iit.bme.hu)